昆虫学报 Acta Entomologica Sinica，August 2005，48(4)：554－560 ISSN 0454-6296

转 *sck* + *cry1Ac* 基因水稻对二化螟及二化螟绒茧蜂存活和生长发育的影响

姜永厚[1,2,3]，傅 强[3]，程家安[1*]，祝增荣[1]，蒋明星[1]，张志涛[3]

(1. 浙江大学应用昆虫学研究所，杭州 310029；2. 浙江理工大学生物工程研究所，杭州 310018；3. 中国水稻研究所，水稻生物学国家重点实验室，杭州 310006)

摘要：在实验室研究了转 *sck* + *cry1Ac* 基因水稻(MSB)对二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)生长、存活以及经寄主对二化螟绒茧蜂 *Apanteles chilonis* (Munakata)生物学特性的影响。连续取食转 *sck* + *cry1Ac* 基因水稻的二化螟，体重下降、死亡率上升，从第 2 天开始，其体重显著低于取食明恢 86 的对照组；从第 6 天开始，死亡率极显著高于对照组。二化螟取食 MSB 36 h 后移至对照水稻上继续取食 3、6、9、12 天后，死亡率与对照差异都不显著；但体重均低于对照，其中第 3 天的体重差异达显著水平。二化螟绒茧蜂分别以取食 MSB 一定时间的 3、4、5 龄二化螟幼虫为寄主时，寄生率均低于以对照组，其中对 4 龄幼虫的寄生率差异显著；结茧率与对照差异均不显著；寄生在取食 MSB 的 5 龄二化螟幼虫体内的蜂、蛹期显著长于对照，而所结茧的茧长显著短于对照；但卵-幼虫历期、每茧块茧数、羽化率、雌性率、成蜂寿命和前翅长与对照无显著差异。结果表明转 *sck* + *cry1Ac* 基因水稻不仅对二化螟生长和存活有显著影响，而且可经寄主二化螟影响到二化螟绒茧蜂的一些生物学特性。

关键词：转 *sck* + *cry1Ac* 基因水稻；二化螟；二化螟绒茧蜂；存活；生长发育

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2005)04-0554-07

Effect of transgenic *sck* + *cry1Ac* rice on the survival and growth of *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) and its parasitoid *Apanteles chilonis* (Munakata) (Hymenoptera: Braconidae)

JIANG Yong-Hou[1,2,3], FU Qiang[3], CHENG Jia-An[1*], ZHU Zeng-Rong[1], JIANG Ming-Xing[1], ZHANG Zhi-Tao[3] (1. Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Institute of Bioengineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Effect of transgenic *sck* + *cry1Ac* rice (MSB) on mortality and fresh weight of the stripped stem borer (SSB), *Chilo suppressalis* (Walker), and biological characteristics of *Apanteles chilonis* (Munakata) via its host SSB was studied in the laboratory. Mortalities of SSB feeding on MSB increased steadily, and were significantly higher than those feeding on MH86 (CK) on day 6 and afterwards. The fresh weights of SSB continuously feeding on MSB were significantly less than those of feeding on CK on day 2 and afterwards. Mortalities of SSB feeding on CK for 3, 6, 9, 12 days after feeding on MSB for 36 h were not significantly different from those of continuously feeding on CK; but the fresh weights of the SSB were very significantly less than those feeding on CK on day 3. Parasitism rate of 4th instar larva feeding on MSB by *A. chilonis* was significantly lower than that of the control. Pupal duration and length of cocoon of the parasitoid from the 5th instar larva feeding on MSB were significantly longer and shorter than those of the control, respectively. However, no differences were detected in percentage of pupa formation, duration of egg and larva, cocoon number of simple cocoon mass, wasp emergence rate, female rate, longevity and forewing length of wasp between the parasitoids from SSB feeding on MSB and MH86. The results indicated that the transgenic *sck* + *cry1Ac* rice did affect not only the mortality and body weight of the stripped stem borer, but also some biological characteristics of its parasitoid *A. chilonis*.

Key words: Transgenic *sck* + *cry1Ac* rice; *Chilo suppressalis*; *Apanteles chilonis*; survival; growth and development

---

基金项目：国家重点基础研究发展规划“973”项目(001CB109004)；国家自然科学基金项目(30070500)

作者简介：姜永厚，男，1971 年生，江苏赣榆人，博士，研究方向为昆虫生理生态及生物安全评价，E-mail：yonghoujiang@vip.sina.com

* **通讯作者** Author for correspondence，E-mail：jacheng@zju.edu.cn

收稿日期 Received：2004-10-18；**接受日期** Accepted：2005-06-30

二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)是水稻的重要害虫。20 世纪 90 年代中后期,随着耕作制度的调整,以及粗秆型杂交稻的推广种植,二化螟种群数量迅速回升,对水稻生产构成了严重威胁。同时,由于农药的大量使用,二化螟种群抗药性迅速上升(曹明章等,2003)。利用植物基因工程技术培育抗虫作物品种是一种新的具有广阔应用前景的害虫防治途经。国内外已有许多将苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt)杀虫蛋白基因或植物蛋白酶抑制剂基因如 *CpTI* 基因导入水稻获得转基因抗虫水稻的报道(Fujimoto *et al*., 1993;Duan *et al*., 1996;Wünn *et al*., 1996;Xu *et al*., 1996;Wu *et al*., 1997;Ghareyazie *et al*., 1997;舒庆尧等,1998;Shu *et al*., 2000;Tu *et al*., 2000)。

将两种不同作用机制的抗虫基因导入同一作物,不但可以提高杀虫效果,扩大杀虫范围,而且可以延缓害虫对转基因抗虫作物的抗性(Roush, 1994, 1997)。*sck*(Signal-CpTI-KDEL)基因是经修饰的 *CpTI* 基因,两端分别融合了源于大豆 Kunitz 型胰蛋白酶抑制剂(soybean Kunitz trypsin inhibitor, SKTI)的信号肽(signal)序列和内质网滞留信号(KDEL)序列,其目标表达产物 CpTI 对大部分鳞翅目和部分鞘翅目害虫都有较好的抗虫作用(朱祯,2001)。由中国科学院遗传与发育研究所和福建农业科学院合作培育的转 *sck* + *cry1Ac* 双价基因水稻对水稻螟虫和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guence)有很好的控制效果(李冬虎等,2004;赵红盈等,2004)。

但是,转基因抗虫作物在控制害虫的同时,是否会对害虫天敌产生不利影响,是其生态风险评价的一项重要内容。至今,已有许多针对转单价基因抗虫作物对天敌影响的研究,且大多集中在转 Bt 作物上(Pilcher *et al*., 1997;Hilbeck *et al*., 1998;崔金杰和夏敬源,1999;Bell *et al*., 2001;Dutton *et al*., 2002;Ponsard *et al*., 2002;Sétamou *et al*., 2002;Schuler *et al*., 1999a, 1999b, 2001, 2003;Baur and Boethel, 2003;Prütz and Dettner, 2004),但未见转双价基因水稻对害虫天敌影响的报道。本文选择二化螟幼虫期的一种重要寄生性天敌二化螟绒茧蜂 *Apanteles chilonis* (Munakata)作为研究对象,就转双价基因水稻经二化螟对二化螟绒茧蜂的影响进行了研究。

1　材料与方法

1.1　供试水稻品种

转 *sck* + *cry1Ac* 双价基因水稻(MSB)由中国科学院遗传与发育研究所和福建农业科学院合作培育,其亲本材料为明恢 86(MH86)。

1.2　供试虫源

1.2.1　二化螟:采自中国水稻研究所科研基地试验田,自试验田采集越冬代老熟幼虫化蛹、羽化,或用灯诱法诱集成虫带回室内,饲以 10% 蜂蜜水,让其在稻苗上产卵,收集卵块,待其孵化后,用尚稚珍等(1979)的水稻种苗饲养法进行饲养,建立实验室种群。

1.2.2　二化螟绒茧蜂:来源于试验田采集的被寄生的越冬二化螟幼虫,出蜂后,经雌雄配对,以 10% 的蜂蜜水饲养,繁育后代。

1.2.3　饲养条件:试验中二化螟及二化螟绒茧蜂均饲养在温度为 27 ± 2℃,湿度为 75% ± 5%,光周期为 16L∶8D 的养虫室中。

1.3　MSB 中 Cry1Ac 毒蛋白含量的测定

1.3.1　样品的处理:取分蘖期 MSB 和 MH86 茎,剪碎,后加液氮研磨成粉状,称取 20 mg 于匀浆器中,加抽提液 1 000 μL 匀浆,然后 15 000 r/min 离心 10 min,取上清液待测,重复 3 次。

1.3.2　测定方法:测定 Cry1Ac 蛋白含量所用的 Bt-Cry1Ab/Ac ELISA 平板试剂盒以及包被好抗体的 96 孔板和配套试剂均由美国 Agida 公司提供,标准 Cry1Ab 蛋白(美国 Envirologix 公司)浓度分别是 0, 0.5, 2.5, 5.0 ng/g。每次试验同时做 1~2 个重复的 Cry1Ab 标样,根据说明书中 Cry1Ac 标样与 Cry1Ab 标样的关系制作标准曲线,保证稀释溶液的 Cry1Ab 浓度不超过标样的最高浓度 5 ng/g。整个测定过程在 20 ± 2℃ 条件下进行。所有结果均由酶标仪读取,设置波长为 450 nm。将结果换算成每克鲜重含有的 Cry1Ac 蛋白量(ng)。

1.4　二化螟幼虫的处理

将粗细相同的分蘖期 MSB 或 MH86 茎杆(10 cm),分别置于 2 cm × 15 cm 试管中,每试管一段,基部用湿棉球保湿,作为供饲食料。设以下 3 种处理。

1.4.1　连续取食 MSB 水稻:将 5 龄初二化螟接入放有 MSB 茎段的试管,每管 2 头,共 50 管,让其在 MSB 上连续取食 10 天,每两天换一次新鲜茎段,检查存活情况,并用万分之一克天平称取存活幼虫的鲜重。以取食亲本 MH86 为对照。

1.4.2　取食 MSB 后再用对照稻饲养:将 5 龄初二化螟接入放有 MSB 茎段的试管,每管 2 头,共 40 管,在 MSB 上取食 36 h 后检查存活情况并称重。然后,转移至 MH86 对照水稻上继续取食 12 天,每 3 天换一

次新鲜茎段，检查存活情况，并称重。以一直取食亲本 MH86 的为对照。

1.4.3 供二化螟绒茧蜂寄生用二化螟的处理 每试管中分别接入二化螟 3 龄、4 龄或 5 龄幼虫 2 头，参照姜永厚等（2004a）二化螟在 KMD1 茎上的取食时间，分别取食 MSB 茎段 12、24 和 36 h 后，供二化螟绒茧蜂寄生。以一直取食亲本 MH86 的作为对照。

1.5 二化螟绒茧蜂的寄生、饲养观察

将各处理的二化螟幼虫从茎杆中剥出，单头移入放有一对在 12 h 内羽化的绒茧蜂的试管（2 cm × 15 cm）中供其寄生，6 h 后再将幼虫移入装有常规感虫品种秀水 11 种苗的试管中饲养，每个龄期重复 5 ~ 6 次，每次处理 30 头左右。每 3 天换 1 次种苗，同时记录二化螟的存活情况。根据绒茧蜂的发育历期，在接近蜂幼虫啮出结茧至蜂死亡期间，每天调查结茧、出蜂和存活等情况，并在解剖镜下解剖死亡的二化螟，观察有无蜂幼虫。出蜂后即饲喂 10% 蜂蜜水。记录出茧时间、茧块大小（每茧块茧数）和性别，统计蜂蛹历期、羽化率、性比和雌、雄蜂寿命。茧块及死亡的蜂保留用于测量。测量时，将蜂和茧用 70% 酒精浸泡 2 ~ 3 min，使翅充分平展，然后在 Leica MZ APO 解剖镜下测量雌、雄蜂前翅长和茧长，精确至 0.05 mm，每一茧块羽化的蜂测量 15 头左右，每茧块测量大约 15 个茧，小于 15 个茧的茧块全部测量。

2 结果与分析

2.1 MSB 茎中 Cry1Ac 毒蛋白含量

ELISA 方法测定结果表明，分蘖期 MSB 茎中 Cry1Ac 毒蛋白含量达 25.6 μg/g 鲜重，而对照中未测到 Cry1Ac 毒蛋白。

2.2 连续取食转双价抗虫基因水稻对二化螟幼虫存活和生长的影响

从图 1A 可见，取食 MSB 水稻的 5 龄二化螟死亡率上升，从第 6 天开始，显著高于取食对照 MH86 的死亡率（$P < 0.05$）（图 1：A）。取食 MSB 的二化螟体重从第 2 天开始显著低于取食 MH86 的二化螟体重（$P < 0.05$），从第 4 天往后均极显著低于取食 MH86 的二化螟体重（$P < 0.01$）（图 1：B）。

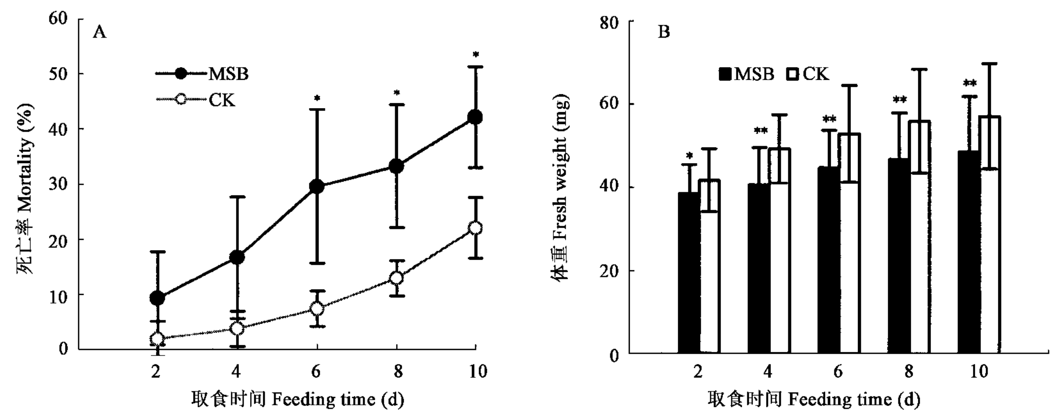


图 1 二化螟 5 龄幼虫连续取食转 *sck* + *cry1Ac* 基因水稻（MSB）或对照水稻 MH86 的死亡率（A）和体重（B）

Fig. 1 Mortality (A) and fresh weight (B) of the 5th instar stripped stem borer (SSB), *Chilo suppressalis*, feeding on transgenic *sck* + *cry1Ac* (MSB) or MH86 (CK) rice plants

图中数据是平均数 ± 标准差；*，** 分别表示与对照组相比差异显著（$P < 0.05$）和极显著（$P < 0.01$）。后同。

The data in the figure are mean ± *SD*. * and ** indicate significant difference at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ from control, respectively. The same for the following figures.

2.3 取食 MSB 36 h 后移至对照稻上饲养对二化螟存活和生长的影响

二化螟 5 龄幼虫取食 MSB 36 h 后转移至 MH86 上饲养 3 天、6 天、9 天、12 天后的死亡率与对照组差异都不显著（$P < 0.05$）（图 2：A）。

取食 MSB 36 h 后，二化螟 5 龄幼虫体重极显著低于对照（$P < 0.01$）；转移至 MH86 对照上饲养 3 天后，二化螟体重仍显著低于对照（$P < 0.05$）；但在 MH86 对照上饲养 6 天后，二化螟体重与对照组差异不显著（$P < 0.05$）；至 MH86 对照上饲养 9 天或 12 天后，二化螟体重已稍高于对照，但差异不显著（$P < 0.05$）（图 2：B）。

2.4 MSB 经二化螟对二化螟绒茧蜂寄生的影响

二化螟绒茧蜂对取食过 MSB 的 3、4、5 龄二化螟幼虫的寄生率都低于始终取食对照水稻二化螟幼虫的寄生率，但仅 4 龄幼虫间差异达显著水平（图 3：A）；在 4 龄二化螟幼虫上的结茧率低于对照，3 龄和 5 龄二化螟幼虫的结茧率稍高于对照，但差异均

未达显著水平(图 3：B)。

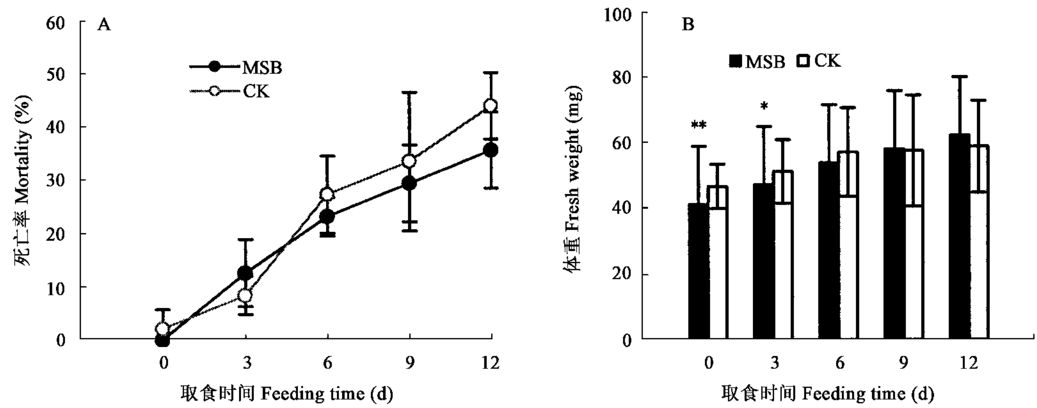


图 2　二化螟 5 龄幼虫取食 MSB 水稻 36 h 后转移至对照水稻 MH86 上继续取食不同时间的死亡率(A)和鲜重(B)

Fig. 2　Mortality (A) and fresh weight (B) of the 5th instar SSB, feeding on MH86 (CK) for different times after feeding on MSB or MH86 plants for 36 h

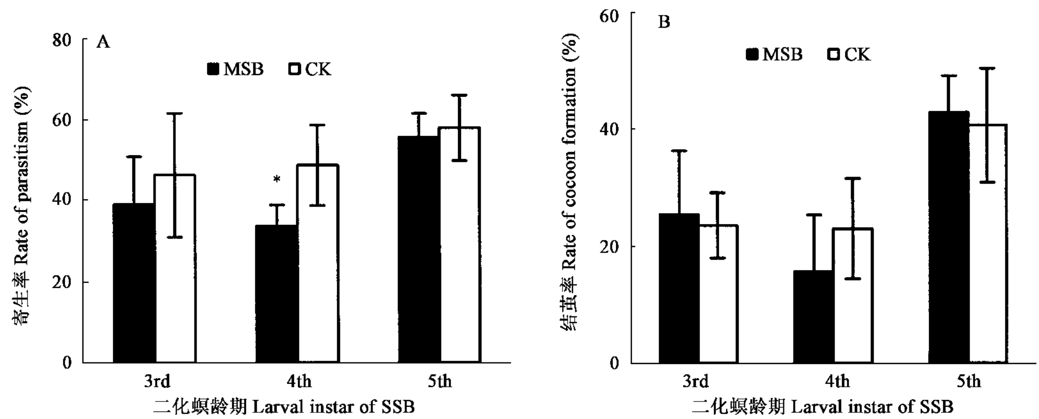


图 3　二化螟绒茧蜂在取食 MSB 的不同龄期二化螟幼虫上的寄生率(A)和结茧率(B)

Fig. 3　Rates of parasitism (A) and cocoon formation (B) of *Apanteles chilonis* on different instars of SSB reared with MSB and MH86 (CK) rice plants

表 1　MSB 水稻经二化螟对二化螟绒茧蜂发育历期和成蜂的影响

Table 1　Impact of MSB rice on immature duration and adult of the parasitoid *A. chilonis* via SSB

	被寄生二化螟的龄期 Larval instar of SSB parasitized					
	3 龄 3rd instar		4 龄 4th instar		5 龄 5th instar	
	MSB	对照 CK	MSB	对照 CK	MSB	对照 CK
卵-幼虫历期 Egg and larval duration (d)	12.8 ± 2.75 a	13.1 ± 2.75 a	12.4 ± 1.94 a	12.3 ± 1.86 a	11.1 ± 1.69 a	11.8 ± 1.78 a
蛹期 Pupal duration (d)	5.4 ± 0.98 a	5.6 ± 0.59 a	5.5 ± 0.69 a	5.6 ± 0.79 a	5.2 ± 0.52 a	4.9 ± 0.78 b
每茧块茧数(个) Cocoon number of single cocoon mass	20.0 ± 12.4 a	21.0 ± 12.4 a	19.8 ± 10.6 a	16.8 ± 8.1 a	30.2 ± 12.8 a	29.0 ± 14.0 a
茧长 Length of cocoon (mm)	2.61 ± 0.17 a	2.78 ± 0.21 b	2.68 ± 0.20 a	2.72 ± 0.21 a	2.68 ± 0.24 a	2.80 ± 0.25 b
羽化率 Emergence rate (%)	78 ± 25 a	78 ± 25 a	76 ± 24 a	78 ± 24 a	91 ± 14 a	87 ± 18 a
雌性率 Female rate (%)	70 ± 18 a	69 ± 17 a	71 ± 21 a	62 ± 25 a	68 ± 26 a	69 ± 25 a
雌蜂前翅长 Forewing length of female (mm)	1.68 ± 0.11 a	1.68 ± 0.10 a	1.70 ± 0.12 a	1.71 ± 0.11 a	1.66 ± 0.10 a	1.68 ± 0.12 a
雄蜂前翅长 Forewing length of male (mm)	1.84 ± 0.08 a	1.80 ± 0.12 a	1.82 ± 0.11 a	1.84 ± 0.16 a	1.82 ± 0.10 a	1.79 ± 0.11 a
雄蜂寿命 Male longevity (d)	2.7 ± 1.16 a	2.7 ± 1.13 a	3.0 ± 1.16 a	2.9 ± 1.23 a	2.9 ± 0.99 a	2.6 ± 0.72 a
雌蜂寿命 Female longevity (d)	2.6 ± 1.17 a	2.7 ± 1.12 a	3.0 ± 0.98 a	2.9 ± 1.25 a	2.9 ± 0.99 a	2.7 ± 0.87 a

表中数据是平均值 ± 标准差，数据后有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。The data in the table are mean ± *SD*, and the data followed by different letters indicate significant difference at $P < 0.05$.

2.5 MSB 经二化螟对二化螟绒茧蜂发育和成虫的影响

寄生在取食 MSB 的各龄二化螟幼虫体内的二化螟绒茧蜂卵-幼虫历期与对照无明显差异；寄生在取食 MSB 的 5 龄二化螟幼虫体内的二化螟绒茧蜂蛹期显著长于对照；而对雌、雄蜂寿命均无明显影响；寄生于取食 MSB 的 3 龄、4 龄和 5 龄二化螟幼虫的绒茧蜂的羽化率、雌性率、成蜂的前翅长和每茧块茧数与对照组相比均无明显差异。但是，寄生于取食 MSB 的 3 龄和 5 龄幼虫时，所结茧的茧长显著短于对照组（表 1）。

3 讨论

本研究结果表明，二化螟绒茧蜂以取食转 *sck* + *cry*1*Ac* 基因水稻 MSB 的 4 龄二化螟幼虫为寄主时寄生率显著低于对照，寄生在取食 MSB 的 5 龄二化螟幼虫体内的二化螟绒茧蜂蛹期显著长于对照，寄生于取食 MSB 的 3 龄和 5 龄二化螟时所结茧的茧长显著短于对照，而供试寄主对二化螟绒茧蜂的结茧率、卵-幼虫历期、成蜂寿命、茧块数和羽化率、雌性率、雌雄蜂的前翅长等生物学参数均无显著影响，这与其他研究结果类似（Bell *et al*.，2001；Baur and Boethel，2003；任璐等，2004）。然而，二化螟绒茧蜂寄生于取食转 *cry*1*Ab* 的 KMD1 水稻的二化螟时，其寄生率和结茧率均显著低于对照（姜永厚等，2004a），这可能与 MSB 相对于 KMD1 对二化螟较温和的作用方式有关。5 龄二化螟连续取食 MSB 10 天，校正死亡率才达 30%，而连续取食 KMD1 8 天，校正死亡率达 96%（未发表数据）；同样二化螟幼虫取食 KMD1 或 MSB 36 h 后移至各自的对照品种上继续取食 12 天，它们各自的校正死亡率分别为 41% 和 0。MSB 茎中 Cry1Ac 毒蛋白含量仅为孕穗期 KMD1 茎中 Cry1Ab 含量的 59%（姜永厚等，2004b）。同时，MSB 中表达的 CpTI 蛋白主要通过与中肠蛋白酶活性部位的结合而阻断或减弱消化酶的蛋白水解作用，造成害虫的生长发育抑制或死亡（Xu *et al*.，1996）。但是，CpTI 在 MSB 的杀虫效果中发挥多大的作用，尚需寻找到准确的定量方法后才能进一步确定。

寄生蜂寄生于取食过转基因水稻或对照水稻的二化螟后，在寄生蜂幼虫啮出前会有一部分因寄主二化螟死亡而死亡。本研究中所用的寄生率是根据从二化螟幼虫的出茧数和死亡的二化螟幼虫体内解剖观察的二化螟绒茧蜂幼虫的数量统计得出的，但由于检查的时间间隔为 1 天，期间死亡的二化螟幼虫有少量个体已腐烂而无法辨认绒茧蜂幼虫的有无，因此，得到的寄生率要低于实际寄生率。

转基因作物主要通过两种途径对害虫天敌产生影响，一是对天敌的直接毒性，但至今还没有证据（Pilcher *et al*.，1997；Armer *et al*.，2000）；另一个是通过对寄主的影响（如营养质量的改变）间接地影响天敌，如改变天敌的寄主识别、寄主发现和寄主接受行为（Hilbeck *et al*.，1998；Schuler *et al*.，1999b；Bell *et al*.，2001）。姜永厚等（2004b）在取食转 Bt 基因水稻 KMD1 的二化螟幼虫血淋巴中检测到 Cry1Ab，但含量极低，仅 3.5 ng/g，取食转 *cry*1*Ac* + *sck* 基因水稻的二化螟幼虫血淋巴中是否存在 Cry1Ac 或 SCK 还需进一步研究。Bt δ-内毒素在人工饲料中的浓度一般在 50 ng/mL 以上时具有生物活性（Koziel *et al*.，1993）。因此，如果不是二化螟绒茧蜂对 Cry1Ab 或 Cry1Ac 非常敏感，可以认为转 Bt 基因水稻可能不会经二化螟幼虫对二化螟绒茧蜂产生直接不利影响。而转基因抗虫水稻引起寄主二化螟幼虫营养组分变化或发育变缓（如个体变小）可能是其对二化螟绒茧蜂影响的主要原因。

目前大部分研究所用的寄主（靶标害虫）取食转基因作物后均表现为亚致死中毒，这些寄主对寄生蜂的寄生和生长发育并无明显的毒性作用（Johnson，1997；Bell *et al*.，1999；Schuler *et al*.，1999a，1999b，2001，2003）。但也有一些转基因植物对寄生蜂有不利影响的报道（Bell *et al*.，2001；Sétamou，2002；Baur and Boethel，2003；Prütz and Dettner，2004）。任璐等（2004）将转 *Cry*1*A* + *CpTI* 双价基因的抗虫棉叶粉加入人工饲料，研究了转基因抗虫棉对棉铃虫及其内寄生蜂的双重效应，结果表明寄生于取食抗虫棉饲料的棉铃虫的红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 和棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* 出茧率和茧重都显著下降，解剖寄主发现，两种寄生蜂在取食抗虫棉饲料的寄主体内发育缓慢并且出现部分畸形细蜂。Prütz 和 Dettner（2004）认为转 Bt 基因作物经寄主对寄生蜂生活史参数的影响因不同的 Bt 基因作物、害虫和寄生蜂研究系统而不同。这说明对转基因抗虫作物生态风险的评价应坚持‘个案原则”，即使是同一基因，转入不同植物，由于启动子、转基因技术等的不同，而且目前认为外源基因在靶标基因组中的插入位点都是随机的，一种转基因作物对害虫或天敌的影响不能简单类推至其

他植物。从这个意义上讲，转基因抗虫作物生态风险的评价还有许多工作有待开展。

参 考 文 献（References）

Armer CA，Berry RE，Kogan M，2000. Longevity of phytophagous heteropteran predators feeding on transgenic Btt-potato plants. *Entomol. Exp. App.*，95(3)：329 – 333.

Baur ME，Boethel DJ，2003. Effect of Bt-cotton expressing *Cry*1*A*(*c*) on the survival and fecundity of two hymenopteran parasitoids (Braconidae，Encyrtidae) in the laboratory. *Biol. Control*，26(3)：325 – 332.

Bell HA，Fitches EC，Down RE，Marris GC，Edwards JP，Gatehouse JA，Gatehouse AMR，1999. The effect of snowdrop lectin (GNA) delivered via artificial diet and transgenic plants on *Eulophus pennicornis* (Hymenoptera：Eulophidae)，a parasitoid of the tomato moth *Lacanobia oleracea* (Lepidoptera：Noctuidae). *J. Insect Physiol.*，45(11)：983 – 991.

Bell HA，Fitches EC，Down RE，Ford L，Marris GC，Edwards JP，Gatehouse JA，Gatehouse AMR，2001. Effect of dietary cowpea trypsin inhibitor (CpTI) on the growth and development of the tomato moth *Lacanobia oleracea* (Lepidoptera：Noctuidae) and on the success of the gregarious ectoparasitoid *Eulophus pennicornis* (Hymenoptera：Eulophidae). *Pest Manag. Sci.*，57(1)：57 – 65.

Cao MZ，Shen JL，Zhang SM，Zhou WJ，Zhang JZ，Lu M，2003. Detection and management of insecticide resistance of *Chilo suppressalis* in Jiangsu Province in 2002. *Plant Protection*，29(5)：34 – 37. [曹明章，沈晋良，张绍明，周威君，张金振，吕梅，2003. 2002 年江苏省二化螟抗药性检测及治理. 植物保护，29(5)：34 – 37]

Cui JJ，Xia JY，1999. Effects of transgenic Bt cotton on the population dynamics of natural enemies. *Acta Gossypii Sinica*，11(2)：84 – 91. [崔金杰，夏敬源，1999. 转 Bt 基因棉对天敌种群动态的影响. 棉花学报，11(2)：84 – 91]

Duan XL，Li XG，Xue QZ，Ab-El-Saad M，Xu DP，Wu R，1996. Transgenic rice plants harboring an introduced potato proteinase inhibitor Ⅱ genes are insect resistant. *Nat. Biotech.*，14(4)：494 – 498.

Dutton A，Klein H，Romeis J，Bigler F，2002. Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecol. Entomol.*，27(4)：441 – 447.

Fujimoto H，Itoh K，Yamamoto M，Kyozuka J，Shimamoto K，1993. Insect resistant rice generated by introduction of a modified δ-endotoxin protein gene from *Bacillus thuringiensis*. *Bio/Technology*，11：1 151 – 1 155.

Ghareyazie B，Alinia F，Menguito CA，Rubia LG，de Palma JM，Liwanag EA，Cohen MB，Khush GS，Bennett J，1997. Enhanced resistance to two stem borers in an aromatic rice containing a synthetic *cry*1*A*(*b*) gene. *Mol. Breeding*，3：401 – 414.

Hilbeck A，Baumgartner M，Fried PM，Bigler F，1998. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera：Chrysopidae). *Environ. Entomol.*，27(2)：480 – 487.

Jiang YH，Fu Q，Cheng JA，Ye GY，Bai YY，Zhang ZT，2004a. Effects of transgenic Bt rice on the biological characteristics of *Apanteles chilonis* (Munakata) (Hymenoptera：Braconidae). *Acta Entomol. Sin.*，47(1)：124 – 129. [姜永厚，傅强，程家安，叶恭银，白耀宇，张志涛，2004a. 转 Bt 基因水稻对二化螟绒茧蜂生物学特性的影响. 昆虫学报，47(1)：124 – 129]

Jiang YH，Fu Q，Cheng JA，Zhu ZR，Jiang MX，Ye GY，Zhang ZT，2004b. Dynamics of Cry1Ab protein from transgenic Bt rice in herbivores and their predators. *Acta Entomol. Sin.*，47(4)：454 – 460. [姜永厚，傅强，程家安，祝增荣，蒋明星，叶恭银，张志涛，2004b. 转 Bt 基因水稻表达的毒蛋白 Cry1Ab 在害虫及其捕食者体内的积累动态. 昆虫学报，47(4)：454 – 460]

Johnson MT，1997. Interaction of resistant plants and wasp parasitoids of tobacco budworm (Lepidoptera：Noctuidae). *Environ. Entomol.*，26：207 – 214.

Koziel MG，Carozzi NB，Currier TC，Warren GW，Evola SV，1993. The insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*：past，present and future uses. *Biotechnol. Genet. Engineer. Rev.*，11：171 – 228.

Li DH，Fu Q，Wang F，Yao Q，Lai FX，Wu JC，Zhang ZT，2004. Resistance of transgenic rice containing both *sck* and *cry*1*Ac* genes against *Chilo suppressalis* and *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese J. Rice Sci.*，18(1)：43 – 47. [李冬虎，傅强，王锋，姚青，赖凤香，吴进才，张志涛，2004. 转 *sck*/*cry*1*Ac* 双基因抗虫水稻对二化螟和稻纵卷叶螟的抗虫效果. 中国水稻科学，18(1)：43 – 47]

Pilcher CD，Obrycki JJ，Rice ME，Lewis LC，1997. Preimaginal development，survival，and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environ. Entomol.*，26(2)：446 – 454.

Ponsard S，Gutierrez AP，Mills NJ，2002. Effect of Bt-toxin (Cry1Ac) in transgenic cotton on the adult longevity of four heteropteran predators. *Environ. Entomol.*，31(6)：1 197 – 1 205.

Prütz G，Dettner K，2004. Effect of Bt-corn leaf suspension on food consumption by *Chilo partellus* and life history parameters of its parasitoid *Cotesia flavipes* under laboratory conditions. *Entomol. Exp. App.*，111：179 – 187.

Ren L，Yang YZ，Li X，Miao L，Yu YS，Qin QL，2004. Impact of transgenic *Cry*1*A* plus *CpTI* cotton on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera：Noctuidae) and its two endoparasitoid wasps *Microplitis mediator* (Hymenoptera：Braconidae) and *Campoletis chlorideae* (Hymenoptera：Ichneumonidae). *Acta Entomol. Sin.*，47(1)：1 – 7. [任璐，杨益众，李瑄，苗麟，余月书，秦启联，2004. 转基因抗虫棉对棉铃虫及其内寄生蜂的双重效应. 昆虫学报，47(1)：1 – 7]

Roush RT，1994. Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*：Can transgenic crops be better than sprays? *Biocontrol Sci. Technol.*，4：501 – 516.

Roush RT，1997. Bt-transgenic crops：just another pretty insecticide or a chance for a new start in resistance management? *Pesticide Sci.*，51：328 – 334.

Schuler TH，Potting RPJ，Denholm I，Poppy GM，1999a. Parasitoid behaviour and *Bacillus thuringiensis* plants. *Nature*，400：825 – 826.

Schuler TH，Poppy GM，Kerry BR，Denholm L，1999b. Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. *Trends in Biotechnology*，17：210 – 216.

Schuler TH，Denholm I，Jouanin L，Clark SJ，Clark AJ，Poppy GM，2001. Population-scale laboratory studies of the effect of transgenic plants on

nontarget insects. *Mol. Ecol.*, 10(7): 1 845 – 1 853.

Schuler TH, Potting RPJ, Denholm I, Clark SJ, Clark AJ, Stewart CN, Poppy GM, 2003. Tritrophic choice experiments with Bt plants, the diamondback moth (*Plutella xylostella*) and the parasitoid *Cotesia plutellae*. *Transgenic Res.*, 12: 351 – 361.

Sétamou M, Bernal JS, Legaspi JC, Mirkov TE, 2002. Effects of snowdrop lectin (*Galanthus nivalis* Agglutinin) expressed in transgenic sugarcane on fitness of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of the non-target pest *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 95(1): 75 – 83.

Shang ZZ, Wang YS, Zhou YH, 1979. A method of rearing of *Chilo suppressalis*. *Acta Entomol. Sin.*, 22(2): 164 – 167. [**尚稚珍, 王银淑, 邹永华**, 1979. **二化螟饲养方法的研究. 昆虫学报**, 22(2): 164 – 167]

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Cheng XY, Xiang YB, Wu DX, Gao MW, Xia YW, Hu C, Sardana R, Altosaar I, 2000. Transgenic rice plants with a synthetic *cry1Ab* gene from *Bacillus thuringiensis* were highly resistant to eight lepidopteran rice pest species. *Mol. Breeding*, 6(4): 433 – 439.

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Xia YW, Gao MW, 1998. Development of transgenic *Bacillus thuringiensis* rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *J. Zhejiang Agric. Univ.*, 24(6): 579 – 580. [**舒庆尧, 叶恭银, 崔海瑞, 夏英武, 高明尉**, 1998. **转基因水稻'克螟稻'选育. 浙江农业大学学报**, 24(6): 579 – 580]

Tu JM, Zhang GA, Datta K, Xu CG, He YQ, Zhang QF, Khush GS, Datta SK, 2000. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis* δ-endotoxin. *Nat. Biotech.*, 18: 1 101 – 1 104.

Wu C, Fan Y, Zhang C, Oliva N, Datta SK, 1997. Transgenic fertile japonica rice plants expressing a modified *cry1A(b)* gene resistant to yellow stem borer. *Plant Cell Rep.*, 17: 129 – 132.

Wünn J, Klöti A, Burkhardt PK, Biswas GC, Launis K, Iglesia VA, Potrykus I, 1996. Transgenic indica rice breeding line IR58 expressing a synthetic *cry1A(b)* gene from *Bacillus thuringiensis* provides effective insect pest control. *Bio/Technology*, 14: 171 – 176.

Xu DP, Xue QG, McElroy D, Mawal T, Hilder VA, Wu R, 1996. Constitutive expression of a cowpea trypsin inhibitor gene, *CpTI*, in transgenic rice plants confers resistance to two major rice pests. *Mol. Breed.*, 2: 167 – 173.

Zhao HY, Zhang YJ, Wu KM, Zhao KJ, Peng YF, Guo YY, 2004. Expression of Cry1Ac protein in *cry1Ac/CpTI* transgenic rice and its resistance in different stages to *Chilo suppressalis*. *J. Agric. Biotech.*, 12(1): 76 – 79. [**赵红盈, 张永军, 吴孔明, 赵奎军, 彭于发, 郭予元**, 2004. **转** *cry1Ac/CpTI* **双价抗虫水稻** Cry1Ac **杀虫蛋白的表达特性及其对二化螟的毒杀效果. 农业生物技术学报**, 12(1): 76 – 79]

Zhu Z, 2001. Research and development of highly insect-resistant transgenic rice. *Bulletin of the Chinese Academy of Science*, 16(5): 353 – 357. [**朱祯**, 2001. **高效抗虫转基因水稻的研究与开发. 中国科学院院刊**, 16(5): 353 – 357]

(责任编辑 袁德成)